

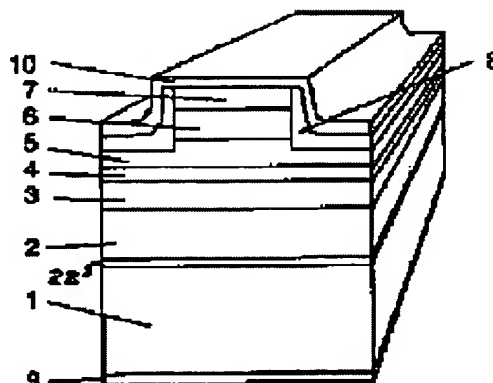
SEMICONDUCTOR LASER SYSTEM, IMAGE DISPLAY AND PHOTO-TRANSMISSION SYSTEM

Patent number: JP10027946
Publication date: 1998-01-27
Inventor: UDA MASAHITO; MOMOSE MASAYUKI; NAKATSUKA SHINICHI
Applicant: HITACHI LTD
Classification:
 - **International:** H04B10/02; H04B10/28; H04B10/02; H04B10/28;
 (IPC1-7): H01S3/18; H04B10/02; H04B10/28
 - **European:**
Application number: JP19960181856 19960711
Priority number(s): JP19960181856 19960711

Report a data error here

Abstract of JP10027946

PROBLEM TO BE SOLVED: To make feasible of the oscillation in a visible wavelength region by forming a clad layer in a formula shown composition meeting the lattice matching requirements with a substrate on the upper part of a p conductivity type ZnTe single crystalline substrate. **SOLUTION:** A p type ZnPe layer 22 is formed on a p type ZnTe single crystalline substrate 1 further forming formula shown p type clad layer 2 and p type guide layer 3 further an active layer 4 and an n type photo guide layer 5. Next, an oblique composition layer comprising formula shown n type clad layer 6 and a contact layer 7 to an n side electrode 10. This contact layer 7 is grown to make the composition slowly approach to ZnSe in order to improve the electrical conduction between the n side electrode 10 and the n type clad layer 6. In such a constitution, the lattice constant from the p type ZnTe single crystalline substrate 1 to the surface of the clad layer 6 is made almost constant. Furthermore, the lattice constant is reduced bounded by the interface between the n type clad layer 6 and the contact later 7.

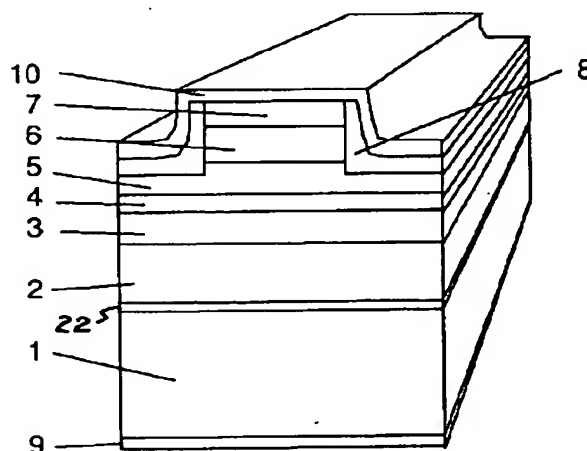


Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成10年(1998)1月27日

10/02



【特許請求の範囲】

【請求項1】 p伝導型 $ZnTe$ 単結晶基板上部に該基板と実質的に格子整合条件を満たすよう形成された $Zn_xMg_{1-x}Se_y(1-x)Te_{1-y}(1-x)$ ($0 \leq x < 1$) の組成を有するクラッド層を含むことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 上記クラッド層の組成の y は、略0.5であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】 上記クラッド層に挟まれるように形成された活性層は、 $Zn_xCd_{1-x}Se_y(1-x)Te_{1-y}(1-x)$ ($0 \leq x \leq 1$) の組成からなり、 y は略0.884であることを特徴とする請求項1項又は請求項2に記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 上記クラッド層に挟まれるように形成された活性層は、 $Zn_xMg_{1-x}Se_y(1-x)Te_{1-y}(1-x)$ ($0 \leq x \leq 1$) の組成を有し、室温における該活性層の禁制帯幅は上記クラッド層の禁制帯幅より少なくとも0.3 eV以上小さいことを特徴とする請求項1及び第2項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項5】 p型 $ZnTe$ を電流狭窄部の埋込材料に用いたことを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【請求項6】 請求項1乃至4の半導体レーザ装置を光源として備えたことを特徴とする画像表示装置。

【請求項7】 上記半導体レーザ装置は、利得導波型又は高周波重畳型の共振器構造を有することを特徴とする請求項6に記載の画像表示装置。

【請求項8】 600 nm以下の発振波長の光源を含み且つ該光源により光信号を送信する信号送信手段と、該信号送信手段からの光信号を受信する信号受信手段と、該信号発振手段と該信号受信手段とを結び該光信号を伝送するプラスチックファイバからなる伝送線からなり、上記伝送線の少なくとも一は3 km以上の長さを有することを特徴とする光伝送システム。

【請求項9】 半導体レーザにより光信号を発信する光信号発信手段と、該光信号を伝送する有機材料からなる伝送線とを含み、上記半導体レーザの発振波長における上記伝送線の伝送損失は0.1 dB/m以下であることを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体光素子及びそれを応用した装置に関わり、特に光記録再生装置、画像発生装置、光情報処理端末装置、あるいはプラスチックファイバ等を信号伝送路とする光通信システムに有用な半導体レーザに関わる。より詳しく述べると、II-VI族化合物材料を用いる可視から紫外波長域に発振波長を

有する半導体レーザならびに発光ダイオードと、半導体レーザを光源に用いた画像表示装置などの装置に関わる。

【0002】

【従来の技術】 600 nm以下の波長帯で動作する半導体レーザは、非線形光学結晶を用いて高次の光高調波を発生させる所謂SHG方式以外の方法では、現在のところ実用化されていない。最近、GaAsを基板に用いてその上にクラッド層として $ZnMgSSe$ 、活性層として $ZnCdSe$ からなるII-VI族化合物半導体レーザの研究が行われている。ここで、II-VI族化合物半導体とはアルカリ土類金属（例えば、Mg）や亜鉛族（例えば、Zn、Cd）等の+2の酸化状態を示す元素（所謂、II族元素）とカルコゲン（例えば、S、Se、Te）等の-2の酸化状態を示す元素（所謂、VI族元素）からなる半導体材料を定義する。しかしながら、レーザ動作時に急速な性能劣化が起こるために $ZnMgSSe$ 系半導体を活性層に用いて実現される青緑色半導体レーザの寿命は数時間に留まり、製品水準である1万時間以上の寿命を得るに到っていない。

【0003】 一方、p型 $ZnTe$ を基板に用いてその上に上述のII-VI族半導体を積層して成る発光素子が2例知られている。第一の例（特開昭57-26491号公報参照）はp型 $ZnTe$ 基板上に $Zn_{1-x}Cd_xSe_yTe_{1-y}$ ($0 < x < 1$) により構成される発光素子に関するものであり、第二の例（特開平04-133478号公報参照）はp型 $ZnTe$ 基板上に $Mg_{1-x}Zn_xTe$ ($0 < x < 1$) の組成により構成される発光素子に関するものである。

【0004】 第一の例は、p- $ZnTe$ 基板上に $n^- - Zn_{1-x}Cd_xSe_yTe_{1-y}$ からなる活性層を、さらに当該活性層上に $n^+ - Zn_{1-x}Cd_xSe_yTe_{1-y}$ をそれぞれ格子整合させて積層することで、発光波長650 nmの光源を実現するものである。しかし、この例では活性層とクラッド層との間のバンドオフセットが十分にとれないために実現できる光源の発光波長は700 nm付近の近赤外領域に限られ、可視域の発光素子としては機能しないという重大な欠点があった。

【0005】 一方、第二の例は、p- $ZnTe$ 基板上に $p - Mg_{0.5}Zn_{0.5}Te$ からなるクラッド層、アンドープの $Mg_xZn_{1-x}Te$ ($x < 0.5$) からなる活性層、 $n - Mg_{0.5}Zn_{0.5}Te$ からなるクラッド層をこの順に積層し、発光波長が490 nm ($x = 0.25$) 又は540 nm ($x = 0.1$) の半導体発光素子を実現するものである。ここで、活性層のエネルギーバンドギャップ E_g (単位: eV) と発光波長 λ (単位: nm) の関係は次式で表される。

【0006】

$$【数1】 \quad E_g = 1.24 / \lambda$$

…(数式1)

しかし、第2の例では基板と結晶との格子整合条件を満足出来ないために結晶品質が劣悪になり、そのために実用に耐え得る発光素子の作製が不可能であると言う重大な欠点を有していた。即ち、活性層に結晶欠陥が多く存在するため、本来発光に寄与すべきキャリア（電子、正孔）の損失が多く、また発光したとしてもこれに伴う結晶の温度上昇に伴い活性層・クラッド層間の格子不整合が増長し、さらに多くの結晶欠陥が活性層内で増殖するという問題を抱えていた。従ってこの例に基づいて発光ダイオードを構成しても寿命が短く、さらに半導体レーザを構成しても活性層やクラッド層に存在する結晶欠陥の多さからレーザ発振が殆ど不可能であった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】実用レベルの性能を有するII-VI族化合物半導体レーザを提供するためには、以下に述べる課題の解決が必要である。

【0008】まず、GaAs基板を用いたZnMgSSe系レーザ素子では、基板界面近傍で発生する熱歪、価電子数の不整合性、および界面近傍で形成されるGa₂Se₃層中の空孔の影響を受けて、基板との界面付近において結晶欠陥の濃度が著しく高くなることを避けることが出来ない（技術課題1）。それに加えて、p型ZnMgSSe中の正孔濃度を 10^{17}cm^{-3} 以上に高くすることが困難であるために、素子の電気抵抗を下げる事ができず、電流注入時に起こる素子内の温度上昇の抑制が困難である（技術課題2）。また基板よりも1%以上大きな格子定数を持つZnCdSeを活性層に用いる必要があるために大きな圧縮歪が活性層と光ガイド層もしくはクラッド層との間に掛っている（技術課題3）。従って、電流注入時に、界面近傍の熱応力の開放と共に発生するミスフィット転位や成長時に生成する積層欠陥を源として転位が増殖し、素子の温度上昇とともにその成長が加速され、活性層を貫通するに至る（貫通転位の成長）。このことをトリガーとして、活性層内の大きな圧縮歪による応力を緩和させるように原子の再配列が引き起こされ、レーザ素子を破壊に到らしめることが実験により明らかにされている。それ故に現状では、ZnMgSSe系青緑色半導体レーザの寿命は、製品水準である室温連続動作時の寿命が1万時間以上に達するに至っていない。

【0009】一方、近年良質のZnSeバルク単結晶を基板に用いたII-VI族半導体レーザが報告されている（ELECTRONICS LETTERS, Vol.31 No.16 (1995年8月3日刊行) pages 1341-1342）。この文献は、n-ZnSe基板上部にZnCdSeからなる活性層を設け、当該活性層の上下を挟むようにZnSeからなる光ガイド層を形成し、さらに光ガイド層の上下を挟むようにZnMgSSeクラッド層を形成してなる半導体レーザを開示し、その発振波長は485乃至517nmになることを教示する。この半導体レーザでは、ZnSe基板やZn

Se光ガイド層との格子整合を考慮してクラッド層をZnMgSSeで形成する一方、活性層をZnSe光ガイド層と格子整合しないZnCdSeからなる量子井戸層（pseudomorphically-strained quantum well）として形成している。

【0010】しかし、この文献が開示する半導体レーザにおいても、上述の第2の従来例に見られた基板と活性層との格子不整合に起因する問題に対する配慮が不十分であった。即ち、ZnSeからなる基板又は層との格子整合を考えて採用したZnMgSSeクラッド層において、構成元素の一つであるSがその蒸気圧の高さ故、素子の製造工程や素子の動作中における温度上昇でクラッド層から抜け、これにより当該クラッド層の化学量論組成が崩れる（VI族元素が入るサイトに不自然な空孔が生じる）という新たな現象が見出されたのである。この現象が生じた結果、ZnSe基板又はZnSe光ガイド層とZnMgSSeクラッド層との間の格子整合は損なわれ、夫々の層は互いの結晶構造を歪ませる応力を加えあう。このような層間に生じる歪エネルギーは、ZnMgSSe層からのSの脱離が進むにつれて高まり、各層においては、このエネルギーを駆動力とした転位（結晶欠陥）の増殖が進行し素子を劣化させる。

【0011】上述のようにZnCdSe活性層は、元来ZnSe光ガイド層に対し格子不整合の条件で接合されているが、光ガイド層との格子定数の差及び層厚（60～200Å）を調整することで層内における転位の発生を抑止している。しかし、Sの脱離に伴うZnMgSSe層との格子不整合の増長によりZnSe光ガイド層の結晶構造が歪むことで、予期せぬ圧縮応力が活性層に掛かり素子性能は急速に劣化する（上述の技術課題3）。

【0012】さらに、レーザ素子用基板として充分な品質のZnSe単結晶の作製は困難を極める上に、量産化技術も確立されていないため、安価で良質な結晶の入手が不可能であるという大きな欠点を有している（技術課題4）。

【0013】これらの理由からZnSe単結晶を基板に用いたII-VI族化合物半導体レーザも現在実用化されるに至っていない。

【0014】本発明は、以上の技術的課題を解決し、実用レベルの性能を有する400nmから700nmの可視波長域、特に実用化が困難とされた600nmの波長領域で発振するII-VI族半導体レーザの提供を可能にすることを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明では基板材料に立方晶閃亜鉛構造のp-ZnTeを、クラッド層にZnMgSeTeを夫々使い、クラッド層のZnMgSeTe組成をZnTe基板と実質上格子整合するように選んでII-VI族半導体レーザを形成する。その長所は以下の通りである。

【0016】1. レーザ光を発振するための共振器構造を形成する材料と同じII-VI族化合物半導体であるp型ZnTeを基板に用いると、GaAs基板を用いる場合に比べて基板界面での熱歪の発生を抑制できる。また価電子数の整合性をとることが出来る上に、Ga₂Se₃層が形成されないで、基板界面で発生する積層欠陥や転位などの欠陥の発生を抑制できる(技術課題1の改善)。

【0017】2. クラッド層をZnMgSeTeで構成することにより、硫黄(S)を構成元素から外せるため、クラッド層の化学量論組成の実質上の安定性(即ち、レーザ発振に支障を来さない結晶品質)が確保できる。また、p伝導型のZnMgSeTeクラッド層とp伝導型のZnTe基板(又はバッファ層)とを接合することで、p側クラッドの直列抵抗を著しく改善できる。即ち、基板とクラッドとの間の価電子帯のエネルギー差が0.3eVと小さいために、正孔注入時の抵抗成分を $10^{-3}\Omega\text{cm}^2$ 以下にできるので熱の発生を抑制でき、素子の温度特性を顕著に改善できる(技術課題2の改善)。

【0018】3. p-ZnTe基板とZnMgSeTeクラッド層を採用することにより、基板から活性層上部のクラッド層に到るまで格子整合条件を満たすように素子構造を作製できる。これにより、活性層近傍での歪による応力の発生を完全に抑制できる(技術課題3の改善)。

【0019】4. ZnTe単結晶は、ZnSeに比べて、良質な結晶の作製が容易で量産性が良好な上に、GaAsよりも安価な単結晶の入手が可能である。したがって、本発明を用いると従来技術の課題を尽く克服するために、製品水準の性能を有する低価格のII-VI族化合物半導体レーザを作製できる(技術課題4の改善)。

【0020】次に、基板材料にp-ZnTeを、クラッド層にZn_xMg_{1-x}Se_{y(1-x)}Te_{1-y(1-x)}($0 \leq x < 1$)を夫々用いてII-VI族化合物半導体レーザを形成する根拠について、図1を参照して説明する。図1には、本発明者が算出したII-VI族系化合物半導体の結晶の室温(25℃)における格子定数の概算値と禁制帯幅の関係が、プロットされている。ここで格子定数のデータを概算値として示した理由は、結晶の格子定数は厳密には

その環境温度により微妙に変わること、本発明の半導体レーザ装置の作製指針に十分な精度であることである。各化合物毎の格子定数(概算値)-禁制帯幅は、ZnTeで6.10nm-2.26eV、MgTeで6.30nm-3.2eV、MgSeで5.90nm-3.5eV、CdTeで6.48nm-1.44eV、CdSeで6.05nm-1.7eV、及びZnSeで5.67nm-2.67eVである。

【0021】図1から明らかなように、ZnTeなる半導体層を構成するII族元素Znの少なくとも一部をMgで置き換えるとき、VI族元素Teの一部をSeで置き換えることにより当該半導体層の格子定数をZnTeのそれに近づけられる。またZnをCdで置き換えるときも、VI族元素Teの一部をSeで置き換えることで当該半導体層の格子定数をZnTeのそれに近づけられる。一方、ZnTe半導体層の禁制帯幅は、ZnをMgで置き換えるに従って広がり、ZnをCdで置き換えるに従って狭まる。この図から、クラッド層をZnMgSeTeなる4元系、又はMgSeTeなる3元系の化合物半導体で、活性層をZnCdSeTeなる4元系、又はCdSeTeなる3元系の化合物半導体で構成することで、活性層へのキャリア閉じ込め効率の高い半導体レーザをZnTe基板上に実質的な格子整合条件を満たして実現できることが明らかであろう。

【0022】本発明者は、図1に示したデータを基にp-ZnTe基板とこれに実質上格子整合するZn_xMg_{1-x}Se_{y(1-x)}Te_{1-y(1-x)}クラッド層($0 \leq x < 1$)とを組み合わせて半導体レーザ装置を構成する利点を次のように説明する。クラッド層は活性層より大きな禁制帯幅を有することを要請されるが、本発明によれば、活性層の組成によりその値がZnTe以上となっても十分な大きさの禁制帯幅を有し且つZnTe基板と格子整合するクラッド層組成を容易に見出せるからである。即ち、Zn_xMg_{1-x}Se_{y(1-x)}Te_{1-y(1-x)}クラッド層に対し、4元系の化合物1モルがy(1-x)モルのMgSe、(1-y)(1-x)モルのMgTe及びxモルのZnTeからなると考え、クラッド層に所望する禁制帯幅E_{gCL}に対し次の連立方程式を解けばよいのである。

【0023】

$$\text{【数2】 } 5.90y(1-x) + 6.10x + 6.30(1-y)(1-x) = 6.10 \quad \cdots (\text{数式2})$$

【0024】

$$\text{【数3】 } 3.5y(1-x) + 2.26x + 3.2(1-y)(1-x) = E_{gCL} \quad \cdots (\text{数式3})$$

数式2は室温における格子整合条件、数式3は禁制帯幅の観点から夫々基づくものである。本発明者は、これらの数式から算出された組成でクラッド層を形成することにより、実質上結晶欠陥フリーのII-VI族化合物からなる半導体レーザ装置が実現できることを見出した。

【0025】さらに望ましくは、上述のyを0.5に近づけるとクラッド層の組成設定は簡単となる。この点から、クラッド層組成におけるyは略0.5とすることが望ましい。また活性層を基板と格子整合しない所謂歪量子井戸構造とする場合、これに接合されるクラッド層で

応力補償を行うように基板に対し若干の格子定数差 (a , $-0.02 < a < 0.02$) を持たせてもよい。このとき、上述の数式2の右辺は $6.10a$ となる。

【0026】さて、上述の可視域半導体レーザを光源に用いると、従来になく高密度な記録容量を持つ光ディスク装置、小型高精細画像表示装置が、或いはプラスチックファイバと組み合わせて用いると、LAN（狭域内光通信）、ボード間光インタコネクト、加入者系などの身近で低価格な光通信システムを実現出来る。

【0027】この例として、画像表示装置用光源と光通信用光源に本発明に関わる半導体レーザを用いた例をそれぞれ述べる。前者に関し、1993年にデジタルマイクロ反射鏡を用いた高精細投射型ディスプレイが発表されている（SID93DIGEST、47.6 Late-News Paper: pp1012-1015）。現在、その光源には1kWのXeもしくは金属ハライドランプが使用されているが、その劣化寿命は2000時間（3ヶ月）以内と短く、しかも交換にかかる費用は一回に付数万円と高価である。本発明による青色、緑色、赤色半導体レーザを光源に使用することにより、光源の寿命を大幅に伸ばすことができる。また装置構成が簡略かつ小型化し、そのため画像発生部と表示スクリーンとが分離出来るなど、低価格化も実現できる。また大幅な少電力化がはかれるので維持費の大幅な低減が可能となる、など省エネルギーなど対環境性も考慮した将来ニーズに適う製品を提供出来る。この他にも液晶投射型ディスプレイ用光源等種々のディスプレイ用光源などにも応用が可能であることはもちろんである。

【0028】また後者に関し、プラスチックファイバ（POF）が現在市販され、低価格のLAN（local area network）等の光通信システムが市場にで回り始めている。現在、POFの伝送損失スペクトルに整合がとれる最適な波長（560～575nm）のレーザ光源が存在せず、そのために橙色発光素子、もしくは赤色レーザで代用されている。しかしこれらの光源を用いた場合には、伝送損失が著しく大きくなるために、システムの価格上昇につながるので、信号伝送性能の改善が強く望まれている。本発明による発振波長約570nmの半導体レーザを光源に使用すると、伝送損失を大幅に低減でき、かつ伝送帯域を拡大出来るので、伝送特性の大幅な改善が行えた。

【0029】

【発明の実施形態】以下の実施例及びその関連図面に開示する本発明の好ましき実施の形態により、本発明をさらに具体的に且つ詳細に説明する。

【0030】＜実施例1＞本実施例を図2及び図6を参照して説明する。本実施例は、活性層組成を $Zn_xCd_{1-x}Se_y(1-x)Te_{1-y}(1-x)$ ($0 \leq x \leq 1$) の一例である $ZnTe$ ($x=1.0$, $y=0$) とした半導体レーザ装置に関するものである。

【0031】室温下でキャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、ホール移動度 $25 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、比抵抗 $0.07 \Omega \cdot \text{cm}$ の電気特性を有する、厚さ1mm、直径3インチのp型 $ZnTe$ ウエハをレーザ結晶成長用の基板1として使用した。使用に当たり、次ぎのプロセス前工程を行った。まず、表面のラッピングを行い、次いで有機洗浄を行った後、ダメージ層をエッチングにより除去した。エッチャントには HCl と HNO_3 の混合液を用い、 25°C 、5分間のエッチングにより表面を $10 \mu\text{m}$ 程度除去した。エッチング後の基板は、純水洗浄と窒素雰囲気中で乾燥を行った後、即座に基板ホルダに取付け、成長炉内に挿入し、減圧下に保持した。レーザ結晶の成長は、原料に固体の Zn 、 Mg 、 Se 、 Te を用いるMBE法により行った。まず基板を 610°C まで加熱し表面酸化層を除去した。酸化層の除去が完全に行われていることをRHEEDで確認した後、基板温度を 320°C に下げて、 Zn 分子線を照射し基板表面の結晶性を整えた。基板温度を 320°C 一定に保持したまま、 50nm 厚のp型 $ZnTe$ 層22を成長した。その上に $2 \mu\text{m}$ 厚のp型 $Zn_{0.2}Mg_{0.8}Se_{0.4}Te_{0.6}$ クラッド層（p型キャリアの密度： $p=4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）2を積層し、次いで厚さ 120nm のp型 $Zn_{0.6}Mg_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.8}$ ガイド層（ $p=7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）3を成長した。その上に活性層4としてアンドープ $ZnTe$ を厚さ 10nm 積層した。

【0032】ここで注釈すれば、 $ZnTe$ はバルク結晶として形成される場合、若干の Zn が抜けて空のサイト（ Zn -vacancy）が結晶中に形成される。この空のサイトの存在は、 $ZnTe$ の結晶性を実質上損なうものでないが、これによりドーパントを注入しなくとも $ZnTe$ のバルク結晶はp型の導電性を示す。これに対し、半導体基板上又は半導体膜上にエピタキシャル成長される $ZnTe$ 膜は空のサイトが実質上形成されず、従って実質上導電性のない（intrinsicな）結晶となる。

【0033】次ぎに、n型光ガイド層5として厚さ 120nm のn型 $Zn_{0.6}Mg_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.8}$ （n型キャリアの密度： $n=5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）とn型クラッド層6として厚さ 800nm のn型 $Zn_{0.2}Mg_{0.8}Se_{0.4}Te_{0.6}$ （ $n=8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）を順次積層した後、n側電極とのコンタクト層7として $Zn_xMg_{1-x}Se_yTe_{1-y}$ ($0.2 \leq x \leq 0.3$, $0.4 \leq y \leq 1$) からなる傾斜組成層を形成した（図2参照）。このコンタクト層7は、後の工程でこの上面に形成されるn側電極と上述のn型クラッド層6との電気的な導通を向上させるためのものであり、その組成が徐々に $ZnSe$ に近づくように成長させる。このように膜厚方向に組成比を傾斜させて成長させたコンタクト層7は、最上部において組成が略 $ZnSe$ となるようにする。これは、 $ZnSe$ なる半導体がn型の導電体として扱うに好適なためである。

【0034】以上の工程を終えた段階での素子の縦方向（成長方向）の格子定数を図5に示す。p- $ZnTe$ 基

板下面から $n\text{-ZnMgSeTe}$ のクラッド層6上面まで格子定数は略一定となり、 n 型のクラッド層6と傾斜組成層7との界面を境に減少している（界面に相当する部分を図5中の矢印で表示）。これは、図1から明らかのように、 ZnSe の格子定数は ZnTe のそれより小さいことによる。コンタクト層の平均キャリア濃度は $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であった。

【0035】成長終了後、温度を 30°C 一定に保持し Br_2 とエタノールとの混合エッチャントを用いてエッチングを行い、ストライプ幅 $8 \mu\text{m}$ の埋込用構造を形成した。その後エビウエハをMOCVD成長炉に導入し、基板温度 370°C において p 型 ZnTe 電流狭窄層8の埋込再生長を行った。再成長後、混合エッチャントでエビ表面をエッチング後、 p 基板側電極9に Ni/Ti/Au 、 n 側電極10に In/Ti/Au を蒸着した。以上の工程において、 p 型のドーパントには Li 等のI族元素（アルカリ金属元素）又は N 、 P 、 As 、 Sb 等のV族元素を、 n 型のドーパントには Al 、 Ga 等のIII族元素又は Cl 、 I 等のVII族元素（ハロゲン元素）を夫々用いた。

【0036】上述の工程により、共振器長 $600 \mu\text{m}$ 、幅 $850 \mu\text{m}$ のレーザチップを作製後、共振器端面を $\text{TaO}_2/\text{SiO}_2$ 多層膜によりコーティングし、端面反射率を95%に調整した。このようにして作製された素子は、室温での電流閾値 $760 \text{A}/\text{cm}^2$ 、発振波長 568nm 、また 50°C 加速試験における動作寿命は4800時間の性能を示した。

【0037】一方、電流狭窄層8に、絶縁性ポリイミド樹脂、または SiO_2 を使用した場合の室温での電流閾値はそれぞれ $2.0 \text{kA}/\text{cm}^2$ 、 $1.4 \text{kA}/\text{cm}^2$ と高い値であることから、埋込層に p 型 ZnTe を使用したことにより表面暗電流が抑えられ、低閾レーザ動作が達成出来たことが確認出来た。

【0038】＜実施例2＞本実施例を図3及び図6を参照して説明する。本実施例は、活性層組成を $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Se}_y(1-x)\text{Te}_{1-y(1-x)}$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）とした半導体レーザ装置に関するものであり、活性層組成の詳細は y を略0.884に設定し、所望の波長組成に合わせて上述の数式1～3を順次解いて x を求めることができる。これは、既にクラッド層について説明した手法と同じ要領で行える。

【0039】室温下でキャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、ホール移動度 $25 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、比抵抗 $0.07 \Omega \cdot \text{cm}$ の電気特性を有する、厚さ 1mm 、直径3インチの p 型 ZnTe ウエハをレーザ結晶成長用の基板1として使用した。使用に当たり、次ぎのプロセス前工程を行った。まず、表面のラッピングを行い、次いで有機洗浄を行った後、ダメージ層をエッチングにより除去した。エッチャントには HCl と HNO_3 の混合液を用い、 25°C 、5分間のエッチングにより表面を $10 \mu\text{m}$ 程度除去した。エッ

チング後の基板は、純水洗浄と窒素雰囲気中で乾燥を行った後、即座に基板ホルダに取付け、成長炉内に挿入し、減圧下に保持した。レーザ結晶の成長は、原料に固体の Zn 、 Mg 、 Se 、 Te を用いるMBE法により行った。まず基板を 610°C まで加熱し表面酸化層を除去した。酸化層の除去が完全に行われていることをRHEEDで確認した後、基板温度を 320°C に下げ、 Zn 分子線を照射し基板表面の結晶性を整えた。

【0040】基板温度を 320°C 一定に保持したまま、 50nm 厚の p 型 ZnTe 層22を成長した。その上に $2 \mu\text{m}$ 厚の p 型 $\text{Zn}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Se}_{0.4}\text{Te}_{0.6}$ クラッド層（ $p = 4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）2を積層し、次いで厚さ 120nm の p 型 $\text{Zn}_{0.6}\text{Mg}_{0.4}\text{Se}_{0.2}\text{Te}_{0.8}$ ガイド層（ $p = 7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）3を成長した。その上に活性層4としてアンドープ CdZnSeTe を厚さ 10nm 積層した。次ぎに、 n 型光ガイド層5として厚さ 120nm の n 型 $\text{Zn}_{0.6}\text{Mg}_{0.4}\text{Se}_{0.2}\text{Te}_{0.8}$ （ $n = 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）と n 型クラッド層6として厚さ 800nm の n 型 $\text{Zn}_{0.2}\text{Mg}_{0.8}\text{Se}_{0.4}\text{Te}_{0.6}$ （ $n = 8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）を順次積層した後、 n 側電極とのコンタクト層7として $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{Se}_y\text{Te}_{1-y}$ （ $0.2 \leq x \leq 0.3$ 、 $0.4 \leq y \leq 1$ ）からなる傾斜組成層を形成した（図3参照）。コンタクト層の平均キャリア濃度は $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であった。

【0041】以上の工程を終えた段階での素子の縦方向（成長方向）の格子定数は、実施例1と同様に図5のグラフに示され、格子定数は n 型のクラッド層6とコンタクト層7との界面を境に減少している（図中の矢印で表示）。

【0042】成長終了後、温度を 30°C 一定に保持し Br_2 とエタノールとの混合エッチャントを用いてエッチングを行い、ストライプ幅 $8 \mu\text{m}$ の埋込用構造を形成した。その後エビウエハをMOCVD成長炉に導入し、基板温度 370°C において p 型 ZnTe 電流狭窄層8の埋込再生長を行った。再成長後、混合エッチャントでエビ表面をエッチング後、 p 基板側電極9に Ni/Ti/Au 、 n 側電極10に In/Ti/Au を蒸着した。

【0043】以上の工程により、共振器長 $600 \mu\text{m}$ 、幅 $850 \mu\text{m}$ のレーザチップは概ね出来上がった。さらに、共振器端面を $\text{TaO}_2/\text{SiO}_2$ 多層膜によりコーティングし、端面反射率を95%に調整して半導体レーザ装置を仕上げた。このようにして作製された素子は、室温での電流閾値 $580 \text{A}/\text{cm}^2$ 、発振波長 588nm 、また 50°C 加速試験における動作寿命は3600時間の性能を示した。

【0044】一方、電流狭窄層に、絶縁性ポリイミド樹脂、または SiO_2 を使用した場合の室温での電流閾値は $2.4 \text{kA}/\text{cm}^2$ 、 $1.7 \text{kA}/\text{cm}^2$ と高い値であることから、埋込層に p 型 ZnTe を使用したことにより表面暗電流が抑えられ、低閾レーザ動作が達成出来たこと

が確認出来た。

【0045】＜実施例3＞本実施例を図4及び図6を参照して説明する。本実施例は、活性層組成を $Zn_xMg_{1-x}Se_yTe_{1-y}$ ($0 \leq x \leq 1$)とした半導体レーザ装置に関するものであり、活性層組成の詳細は y を略0.5に設定し、所望の波長組成に合わせて上述の数式1～3を順次解いて x を求めることができる。これも実施例2同様、既にクラッド層について説明した手法と同じ要領で行える。

【0046】室温下でキャリア濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、ホール移動度 $25 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 、比抵抗 $0.07 \Omega \cdot \text{cm}$ の電気特性を有する、厚さ1mm、直径3インチのp型ZnTeウエハをレーザ結晶成長用の基板1として使用した。使用に当たり、次ぎのプロセス前工程を行った。まず、表面のラッピングを行い、次いで有機洗浄を行った後、ダメージ層をエッチングにより除去した。エッチャントにはHClとHNO₃の混合液を用い、25℃、5分間のエッチングにより表面を10μm程度除去した。エッチング後の基板は、純水洗浄と窒素雰囲気中で乾燥を行った後、即座に基板ホルダに取付け、成長炉内に挿入し、減圧下に保持した。レーザ結晶の成長は、原料に固体のZn、Mg、Se、Teを用いるMBE法により行った。まず基板を610℃まで加熱し表面酸化層を除去した。酸化層の除去が完全に行われていることをRHEEDで確認した後、基板温度を320℃に下げて、Zn分子線を照射し基板表面の結晶性を整えた。

【0047】基板温度を320℃一定に保持したまま、50nm厚のp型ZnTe層22を成長した。その上に2μm厚のp型 $Zn_{0.2}Mg_{0.8}Se_{0.4}Te_{0.6}$ クラッド層($p=4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$)2を積層し、次いで厚さ120nmのp型 $Zn_{0.6}Mg_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.8}$ ガイド層($p=7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$)3を成長した。その上に活性層4としてアンドープ $Zn_{0.8}Mg_{0.2}Se_{0.1}Te_{0.9}$ を厚さ10nm積層した。次ぎに、n型光ガイド層5として厚さ120nmのn型 $Zn_{0.6}Mg_{0.4}Se_{0.2}Te_{0.8}$ ($n=5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$)とn型クラッド層6として厚さ800nmのn型 $Zn_{0.2}Mg_{0.8}Se_{0.4}Te_{0.6}$ ($n=8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$)を順次積層した後、n側電極とのコンタクト層7として $Zn_xMg_{1-x}Se_yTe_{1-y}$ ($0.2 \leq x \leq 0.3$, $0.4 \leq y \leq 1$)からなる傾斜組成層を形成した(図4参照)。コンタクト層の平均キャリア濃度は $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であった。

【0048】以上の工程を終えた段階での素子の縦方向(成長方向)の格子定数は、実施例1と同様に図5のグラフに示され、格子定数はn型のクラッド層6とコンタクト層7との界面を境に減少している(図中の矢印で表示)。

【0049】成長終了後、温度を30℃一定に保持しBr₂とエタノールとの混合エッチャントを用いてエッチングを行い、ストライプ幅8μmの埋込用構造を形成し

た。その後エビウエハをMOCVD成長炉に導入し、基板温度370℃においてp型ZnTeの電流狭窄層8の埋込再成長を行った。

【0050】再成長後、混合エッチャントでエビ表面をエッチング後、p基板側電極9にNi/Ti/Au、n側電極10にIn/Ti/Auを蒸着した。共振器長600μm、幅850μmのレーザチップを作製した。共振器端面をTaO₂/SiO₂多層膜によりコーティングし、端面反射率を95%に調整した。

【0051】このようにして作製された素子は、室温での電流閾値 $1.2 \text{kA}/\text{cm}^2$ 、発振波長519nm、また50℃加速試験における動作寿命は1800時間の性能を示した。また活性層としてアンドープ $Zn_{0.7}Mg_{0.3}Se_{0.15}Te_{0.85}$ を用いた場合には、電流閾値 $1.1 \text{kA}/\text{cm}^2$ 、発振波長458nm、また50℃加速試験における動作寿命は1900時間の性能を示した。

【0052】一方、電流狭窄層に、絶縁性ポリイミド樹脂、またはSiO₂等の絶縁性材料を使用した場合の室温での電流閾値はそれぞれ $2.7 \text{kA}/\text{cm}^2$ 、 $1.9 \text{kA}/\text{cm}^2$ と高い値であることから、埋込層にp型ZnTeを使用したことにより表面暗電流が抑えられ、低閾レーザ動作が達成出来たことが確認出来た。

【0053】＜実施例4＞本実施例を、図7を参照して説明する。

【0054】図7は、本発明の半導体レーザ装置を画像表示装置の光源として用いた一例を示すものである。

【0055】サイズ20×10mm²の2次元スイッチアレイ11、発振波長が異なる3つの高周波重畳半導体レーザ装置12～14、受像同期信号制御回路15、ビーム形状制御装置16、光分波結合装置19を基本構成とする手のひらサイズ(6×8×4cm³)の小型2次元スイッチアレイを用いたフルカラーレーザ光画像発生装置23を試作した。この画像発生装置には、図示せざるも発振波長が460nmの半導体レーザ装置12、520nmの半導体レーザ装置13及び630nmの半導体レーザ装置14が搭載され、個々の半導体レーザ装置に対応してビーム形状制御装置16が設けられ、各々から送られる光は光路調整装置18にて合流し、概ね白色の光を形成する。

【0056】2次元スイッチアレイ11はSiウエハにマイクロマシン技術を用いて構成された100万画素の16×8μm²サイズの単位スイッチからなる。受像同期信号制御回路15は、赤色(630nm)情報、緑色(520nm)情報、青色(460nm)情報を夫々の2次元スイッチアレイ11に送信する。光分波結合装置19は、図示せざるも2次元に配列された画素を有する受光面を備える。3色のレーザ光は、ビーム形状制御装置16でビーム系を拡げられた後、白色光として光分波結合装置19の受光面に入射する。ところで、この受光面には画素毎に2次元スイッチアレイ11のスイッチか

らの信号線が接続され、画素毎の屈折率を制御している。この屈折率により、白色光として入射するレーザ光を選択的な波長で反射させ、光学系24に放射する。換言すれば、選択されない波長は受光面を通過し、光学系24に入射しない。

【0057】このようにフルカラーレーザ光画像発生装置23から発生した画像情報を、 $10 \times 5 \text{ m}^2$ のサイズのスクリーン17上に、投影レンズにより構成される光学系24を通してレーザ光20を投影することにより超高精細大型映像が得られた。

【0058】この光画像発生装置23は、パーソナルコンピュータと組み合わせて、コンピュータ・ディスプレイ装置の画面情報をOHP用スクリーンに投影するプロジェクタにも利用できる。

【0059】＜実施例5＞本実施例を、図8及び図9を用いて説明する。

【0060】図8は、有機材料の一つである、ポリメチルメタアクリレート(PMMA)で形成された光ファイバの伝送損失特性を示す図である。ポリメチルメタアクリレートを主材料とするグレーディッドインデックス型プラスチック光ファイバ(GI-POF)の最小伝送損失波長は600nm以下(特に560～575nm)にある。この光ファイバを用いて光伝送システムを構成する試みは、以前から研究されていたが、600nm以下の波長で発振する半導体レーザ素子が無く、伝送損失波長が比較的低い650nm付近の波長でレーザ発振するInAlGaP系の活性層を有する半導体レーザ素子を光源として用いていた。しかし、伝送損失の影響により実用的な送信距離はせいぜい2kmに留まり、これ以上の距離を伝送させるとなると信号強度の低下からS/N比が低下し、伝達情報の信頼性が著しく低下していた。このため、3km以上の距離を光伝送するには伝送線路上に中継器を設け、ここで一旦電気信号に変換した後再度光信号に変換して信号を伝達せざるを得なかった。

【0061】これに対し、既に実施例1で説明したように、本発明が実現する発振波長が560～575nmの半導体レーザ装置を上記の光伝送システムの光源に用いれば、従来0.3～1.0dB/m程度であった伝送損失を0.05dB/mまで約1桁低減することが出来る。この時の伝送帯域を見積もると2GHz・kmと求まり、従来の約400倍に達することが示された。

【0062】このことを具体的に述べると、従来のポリメチルメタアクリレートで光ファイバ(以下、POF)を用いた光伝送システムにおいて、3km以上の距離の光伝送に不可欠であった中継器の存在が、5km以上の伝送距離においても不要となることである。従って、本発明の半導体レーザ装置とPOFとを組み合わせて得られた知見により、新たな光伝送システムを提案できる。この光伝送システムは、市街地を網羅するLAN(Local

Area Network)において、基地局と中継局もしくは受信局との間、又は中継局と中継局もしくは受信局との間を結ぶいずれかの伝送線の少なくとも一線が3km以上、望ましくは5km以上且つ10km以下の長さの有機材料からなる光ファイバで接続され、当該光ファイバ内を600nm以下の波長の光信号を伝搬させることを特徴とするものである。

【0063】図9にその一例を示す。この図に示す光伝送システムは、従来のSiO₂又はこれにB₂O₃やGeO₂混合して形成した光ファイバ60を用いた所謂幹線系の光伝送システムと上述のPOF53を用いた加入者系の光伝送システムとを組み合わせたものである。

【0064】加入者系の光伝送システムは、中継局の信号送受信端子と加入者A(一般家庭)61や加入者B(オフィス・ビルディング)64の信号送受信端末55とをPOFの加入者系光伝送線54を介して接続して構成される。各加入者は、加入者系光伝送線54からの光信号を信号送受信端末55の受光素子52で電気信号に変換し、この信号に載せられる情報をテレビ(例えば、文字放送チャンネル)62やファクシミリ(例えば、電話機能付)63、コンピュータ端末65で受け取る。受光素子は、実施例1の半導体レーザ素子から電流狭窄層8を除いただけの積層構造を有するフォトダイオードを用いる。加入者が基地局への情報の要求や他の加入者への情報発信をファクシミリ63やコンピュータ65のキーボードから行くと、夫々の機器から発信された電気信号は信号送受信端末55の半導体レーザ装置51で光信号に変換され、加入者系光伝送線54、場合によっては中継局をも介し、基地局や他の加入者の信号送受信端末55へと情報が送られる。加入者の信号送受信端末55の半導体レーザ装置51は実施例1で述べた仕様のものを用いる。図9には、加入者系光伝送線54に加入者A・Bしか加入していないが、実際は1千世帯以上(普及すれば、更に1～2桁上昇)が加入している。

【0065】上述のように、POFに限らず光ファイバを介した情報通信においては信号伝送媒体となる光のファイバ内における損失が問題となる。従って、加入者なり基地局からの信号を伝送する過程で中継局を通して一旦信号を電気に変換し、増幅器58で信号のS/Nを高めるように電気信号を増幅し、再度光に変換してファイバに流す。このような手法は従来から行われていたが、本発明の半導体レーザ装置51及びこれに準じた構造の受光素子52とPOF伝送線53を用い、600nm以下の波長の光を信号伝送媒体とすることで、次のような光伝送システムを構築できる。

【0066】図9が示すように、本発明が新たに可能とする光伝送システムにおいては、基地局57、中継局56、加入者61、64が全て本発明の半導体レーザ装置51が発振する600nm以下の波長の光を媒体とした情報ネットワークが形成されている。図8から明らかな

ように従来の650nm付近の波長の光を媒体とした場合に比べ、460～535nmや560～575nmの波長の光を媒体とした場合POF53における光の伝送損失は0.1dB/mと低くなり、同じ強度の光を一桁近く遠い距離まで伝送できる。このため、従来ビルディング内や工場内のLAN(狭域内光通信)にしか実用の利点なしとされたPOFによる光通信ネットワークが、政令指定都市レベルの広さまで拡張できる検討結果を得た。即ち、POF伝送線53に約570nmの波長の光を伝送する場合、最大10km迄増幅なしで情報を高いS/Nで送れるため、中継局を今までになく離間して設置できるのである。ここで注意すべきは、この光伝送システムの光源は上述の本発明のII-VI族化合物半導体レーザ装置に限定されず、560～575nmの波長の光を発振できるならばIII-V族化合物半導体レーザ装置を用いてもよい点である。しかし、本発明者が調査した限りでは現段階でII-VI族化合物半導体レーザ装置以外に実用の見込みのある光源を見出していない。

【0067】例えば横浜市の場合、基地局を新横浜駅前に、ここからPOF伝送線を南は金沢区富岡、北は緑区長津田まで区毎に1ヶ所ずつ設けられた中継局に結ぶだけで市内を完全に網羅する光通信ネットワークが完成できる。各区において、一中継局から加入者系光伝送線54を区内全域に敷設できるのもPOF伝送線53による波長約570nmの光伝送の利点であり、POFや発光・受光素子の安価に加え、中継局数が少ない分、光伝送システム構築の初期投資が軽減できるため、地域住民が加入しやすい光通信ネットワークが提供できることも期待される。

【0068】図9では、基地局に光-電気変換装置59を介して幹線系と加入者系の信号の授受を行う機能を示して有るが、このような構成により、A市内のLANとB市内のLANとを幹線系の伝送線を介して接続できる。

【0069】このように、本発明の半導体レーザ装置の性能は、POFを用いた安価で高性能な新たな光通信システムの構築を可能にする。いうまでもなく、本発明による600nm以下の発振波長の光源の実現はPOFを用いた光伝送システムのみならず、有機材料で形成された高分子材料の光学繊維で、その最小伝送損失波長(又は伝送損失が0.1dB/m以下となる波長)が600nm以下であるがために、今まで光伝送システムへの応用が見合わされていた材料の活用をも可能にする。

【0070】この他にも、例えば光ファイバジャイロに対してポリメチルメタアクリレート(PMMA)の光ファイバと本発明が実現する発振波長560～575nmの光源とを組み合わせれば、性能/価格比の大幅な改善

が見られるなど、本発明による半導体レーザとPOFとで構成されるシステムは幅広い分野への応用が考えられる。

【0071】

【発明の効果】本発明により、安価で高品質なZnTe単結晶基板上に、ZnCdMgSeTeを主材料し、p型ZnTeを埋込再成長層に用いたII-VI族半導体レーザ構造を作製することにより、紫色から橙色の波長域でレーザ発振可能な、製品レベルの高い水準にある高性能の半導体レーザを提供できる。

【0072】また本発明を用いて提供できる可視域半導体レーザを光源に用いると、小型超高精細画像発生装置、従来になく高密度な記録容量を持つ光ディスク装置、或いはプラスチックファイバと組み合わせると、LAN(狭域内光通信)、ボード間光インタコネクト、加入者系、光ファイバジャイロなどの身近で低価格高性能なシステムを提供出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】禁制帯エネルギーと格子定数の関係を表す図。

【図2】半導体レーザのバンド構造を表わす概略図。縦軸はエネルギー、横軸は基板からのレーザ構造縦方向深さを示す。

【図3】半導体レーザのバンド構造を表わす概略図。縦軸はエネルギー、横軸は基板からのレーザ構造縦方向深さを示す。

【図4】半導体レーザのバンド構造を表わす概略図。縦軸はエネルギー、横軸は基板からのレーザ構造縦方向深さを示す。

【図5】半導体レーザ構造縦方向の格子定数を表わす図。縦軸は格子定数、横軸は基板からのレーザ構造縦方向深さを示す。

【図6】半導体レーザ構造と材料組成を表わす素子断面構造図

【図7】画像表示装置の概略を表わす図。

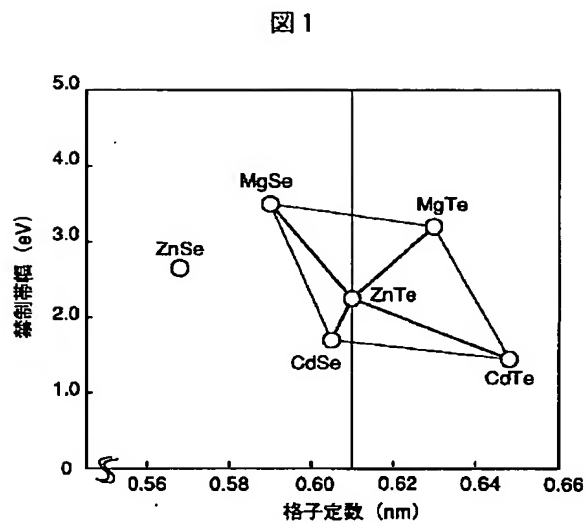
【図8】プラスチックファイバの伝送損失特性を表す図。

【図9】本発明の半導体レーザ装置とPOFを組み合わせた光伝送システムを模式的に表す図。

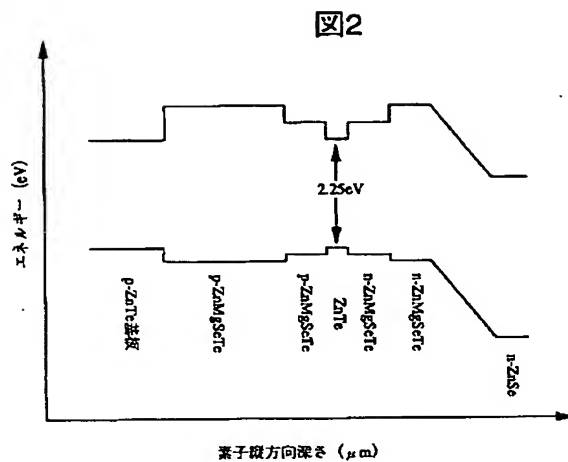
【符号の説明】

1…基板、2…p型クラッド層、3…p型光ガイド層、4…活性層、5…n型光ガイド層、6…n型クラッド層、7…コンタクト層、8…埋込層、9…p側電極、10…n側電極、11…2次元スイッチアレイ、12、13、14…半導体レーザ、15…同期信号制御回路、16…ビーム形状制御装置、17…スクリーン、18…光路調整装置、19…光分波結合装置、20…レーザ光。

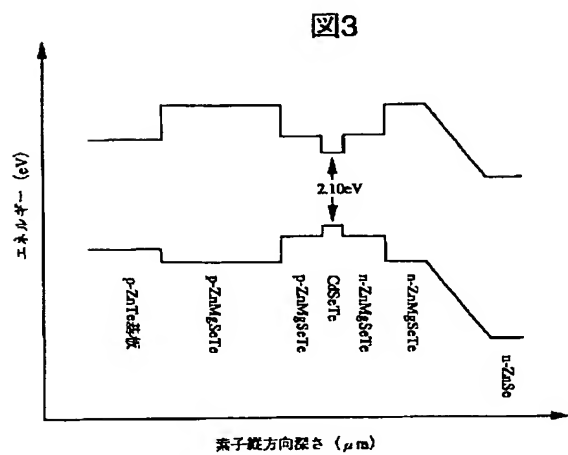
【図1】



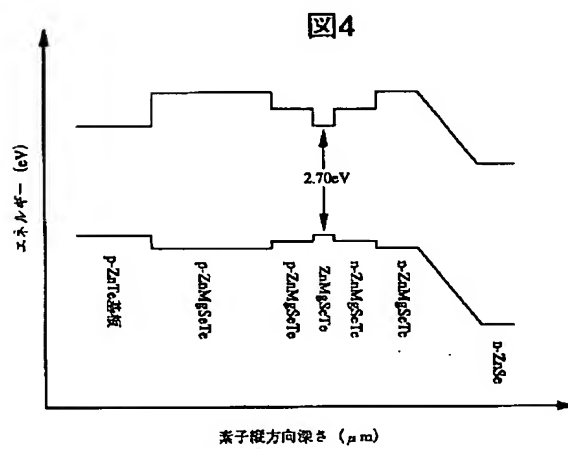
【図2】



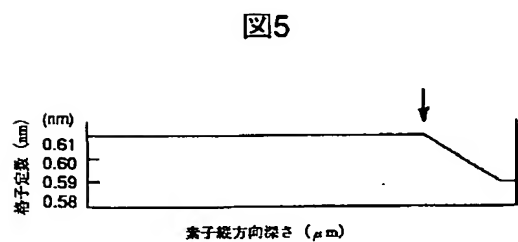
【図3】



【図4】

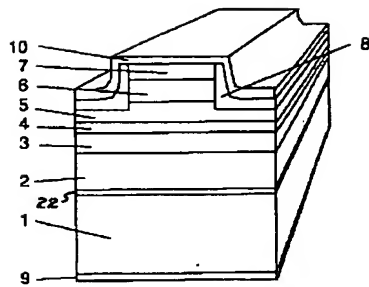


【図5】



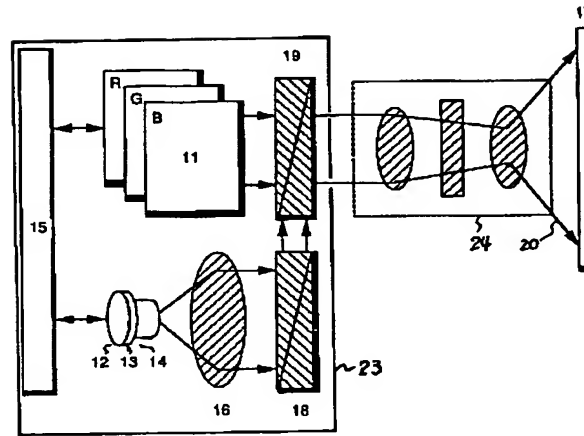
【図6】

図6



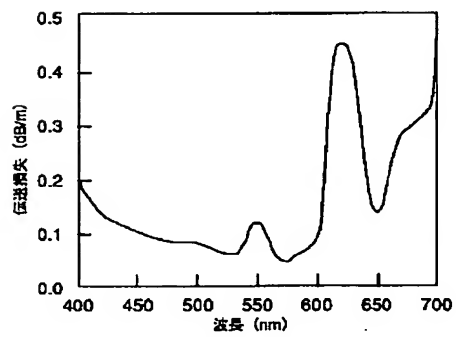
【図7】

図7



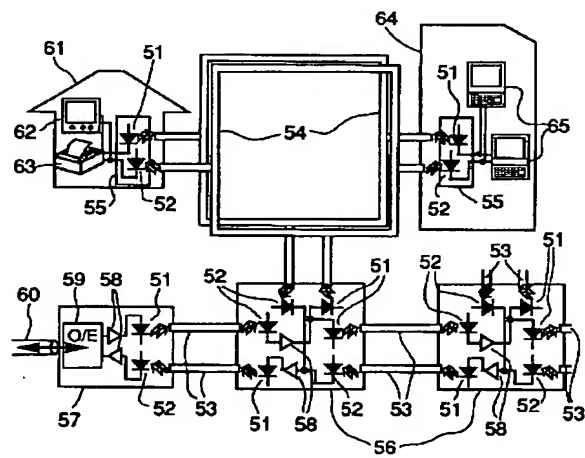
【図8】

図8



【図9】

図9



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.